

0 7 2 1 7 2 2 - 1

На правах рукописи

УДК 581:581.543.084:581.55:504.064.36

ТЕРЕНТЬЕВА Елена Юрьевна

**КОМПЛЕКСНЫЕ ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
ФИТОЦЕНОЗОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ  
ФЕНОМОНИТОРИНГА**

03.00.05. - ботаника



**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Екатеринбург, 2001

Работа выполнена в Уральском государственном педагогическом университете

Научный руководитель: кандидат биологических наук,  
доцент Куприянова М.К.

Официальные оппоненты: член-корреспондент РАН,  
доктор биологических наук,  
профессор Мамаев С.А.  
кандидат биологических наук,  
доцент Радченко Т.А.

Ведущая организация: Институт глобального климата и  
экологии Росгидромета и РАН

Защита состоится «7» *июня* 2001 г в *12* часов на заседании  
диссертационного совета Д 004.005.01 в Институте экологии растений и  
животных УрО РАН по адресу: 620144, г.Екатеринбург, ул.8марта, 202.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института экологии  
растений и животных УрО РАН.

Автореферат разослан «29» *апреля* 2001 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000731565

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук

М.Г.Нифонтова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

В конце XX века изучение растительных сообществ получило особенно широкое распространение. Одна из причин этого – актуальность комплексного системного подхода в решении научных проблем. С этих позиций в фенологии важно не только изучение сезонного развития отдельных видов и даже не сезонного развития некоторых (например, доминантных) видов на фоне остальных, а важно знание о сезонном развитии фитоценоза в целом, как сложного единого «организма», где каждый вид по-своему значим. Арсенал методов, применяемых для изучения фенологии растительных сообществ, невелик – сезонные аспекты, фенологические кривые и фенологические спектры. Все они существовали уже с начала XX века и до сегодняшнего дня лишь видоизменялись, но принципиально не менялись.

Сегодня на фоне назревшей необходимости в универсальных, комплексных, кратких, количественных фенологических показателях фитоценоза, мы имеем с одной стороны – фенологический спектр, характеризующий комплексностью и насыщенностью фенологической информацией, с другой стороны – предложенную в семидесятых годах В.А.Батмановым новую идею о «суммирующих фенологических характеристиках растительности», отвечающую условиям краткости и математичности. Объединив эти два метода, мы получили своеобразную идею-симбиоз, совмещающую в себе положительные стороны обоих методов. Это суммированная фенологическая характеристика фитоценоза, которая и стала основой нашего исследования.

**Цель исследования:** разработка комплексных фенологических показателей фитоценозов и их использование при организации мониторинга сезонной динамики растительности.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи.

1. Разработать методику фенологических наблюдений в растительных сообществах, единую для разных видов и жизненных форм растений, с помощью надежных и простых в работе комплексных фенологических показателей.

2. Провести четырехлетний фенологический мониторинг растительности нескольких фитоценозов с использованием разработанной методики в течение бесснежного периода, по результатам которого построить и проанализировать модели сезонной динамики фитоценозов.
  3. Провести феноклиматическую периодизацию бесснежной части года в окрестностях г.Екатеринбурга с использованием комплексных фенологических показателей.
  4. Оценить погодичную изменчивость сезонной динамики фитоценозов.
  5. Оценить экологическую изменчивость сезонной динамики фитоценозов.
- Научная новизна исследований.**

Предложен новый метод комплексной фенологической характеристики растительных сообществ. Получены оригинальные данные о фенологии растительных сообществ в окрестностях г.Екатеринбурга: составлены 20 феноспектров (для пяти фитоценозов за 4 года); созданы модели сезонной динамики фитоценозов, определены их феноаномалии. Впервые в окрестностях г.Екатеринбурга обосновано деление сезонов бесснежного периода года на подсезоны и ступени. Впервые для целей фенопериодизации использовались количественные цифровые фенопоказатели. Показана возможность вычисления феноаномалий при однократном посещении объекта.

**Практическая значимость.**

1. Предложенная методика и результаты исследований включены в программу обучения студентов очного и заочного отделений географо-биологического факультета УрГПУ по курсу «Сезонные наблюдения в природе».
2. Предложенную методику фенологических исследований можно использовать для специально организованного фенологического мониторинга растительных сообществ низшего ранга, а также параллельно с проводимыми стационарными и экспедиционными геоботаническими, ландшафтными и другими исследованиями, неперенной составной частью которых является изучение сезонной динамики объекта.
3. Результаты исследований позволяют легко ориентироваться в наступлении сезонов и подсезонов бесснежной половины года в окрестностях

г.Екатеринбурга, а значит в планировании работ в самых различных отраслях народного хозяйства, зависящих от сезонной ритмики природы.

4. Организация многолетнего фенологического мониторинга на основе разработанной методики позволит объективно обнаружить тенденции изменения биоклимата локальной территории на фоне его общего потепления или в связи с изменением экологической ситуации.

**На защиту выносятся следующие положения.**

1. Комплексные фенологические показатели – новый перспективный способ отражения сезонной динамики фитоценозов, позволяющий в любой день вегетационного периода дать краткую, комплексную оценку сезонного состояния фитоценоза.

2. Ход сезонных процессов в растительных сообществах характеризуется кривыми нормального распределения.

3. Фенология отдельных видов (в том числе доминантных) или групп видов (например, ярусов) фитоценоза не всегда отражает сезонное состояние сообщества в целом. Для характеристики фенологии фитоценоза необходимо учитывать фенологию всех видов сообщества.

4. Использование комплексных фенологических показателей при фенопериодизации позволяет выделять естественные сезоны года и их этапы внутри вегетационного периода в том случае, если применение традиционных критериев – температурного и явлений-феноиндикаторов – вызывает затруднения или совместно с ними.

5. Вычисление феноаномалий (экологических и погодичных) с помощью комплексных фенологических показателей не требует частых наблюдений: даже однократное посещение объекта позволяет вычислять феноаномалии.

**Апробация работы.**

Результаты диссертационных исследований докладывались на региональной научно-практической конференции «Актуальные проблемы эколого-географического изучения Урала для целей оптимизации природопользования и регионализации образования» (Екатеринбург, 1997), на ежегодной конференции молодых ученых, (Екатеринбург, 1997, 1999), на юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со

дня рождения В.А.Батманова (Екатеринбург, 2000), на заседаниях Екатеринбургского филиала географического общества, а также на заседаниях кафедр ботаники и физической географии УрГПУ.

#### **Публикации.**

По теме диссертации опубликовано пять печатных работ.

#### **Структура и объем работы.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы (230 наименований, в т.ч. 25 на иностранном языке) и приложений. Общий объем диссертации 177стр., из них 118 стр. машинописного текста, включено 13 таблиц и 34 рисунка.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Характеристика района исследований.**

1.1. Природные условия подзоны южной тайги в окрестностях г.Екатеринбурга. Дается краткая характеристика рельефа, геологического строения, почвенно-климатических условий и растительного покрова территории подзоны южной тайги в окрестностях г.Екатеринбурга.

1.2. Характеристика растительных сообществ. Фенологические наблюдения проводились в западно-юго-западных окрестностях г.Екатеринбурга в пяти фитоценозах, которые расположены по линии топоэкологического профиля, представляющего собой типичный фрагмент преобладающих местных ландшафтов. Два фитоценоза располагались на территории Верх-Исетского торфяника: сосняк кустарничково-сфагновый в центральной наиболее низкой и переувлажненной части торфяника; ольшаник болотно-травяной южной окраинной части торфяника у подножия Варнацкого кряжа. Три фитоценоза располагались на территории Варнацкого кряжа: сосняк мелкотравно-черничниковый пологой нижней и средней части северного склона кряжа; березняк травяной пологосклоновой седловины привершинной части кряжа; сосняк орляковый привершинной пологой части южного склона кряжа. Дана характеристика каждого сообщества и условий его существования.

## Глава 2. Методика проведения и обработки наблюдений.

2.1. Организация полевых наблюдений. Наблюдения проводили через 5-10 дней первичным описательным методом (Батманов, 1952, 1967, 1972, Куприянова, Щенникова, 1982, Куприянова, 1995, 2000). В момент посещения фитоценоза на территории фенотлощадки определяли фенологическое состояние вегетативных и генеративных органов каждого вида растений сообщества путём оценки его учётных единиц (учётной единицей вида являлась, обычно, особь) соответственно феностандартам. Феностандарт - ряд последовательно сменяющих друг друга фенофаз, универсальный для всех видов фитоценоза. Каждой фенофазе присвоен цифровой балл. Феностандарт вегетативного цикла (развитие ассимиляционного аппарата) включает девять фенофаз: 0 - зимний покой, 1 («н.п.») - набухание почки, 2 («р.п.») - распускание почки, 3 («р.л.») - рост листа, 4 («м.л.») - молодой лист, 5 («з.л.») - зрелый лист (летняя вегетация), 6 («н.о.») - начало окрашивания (<50%), 7 («от») - интенсивное окрашивание (>50%), 8 («п.о.») - полное отмирание (опадение) листа. Феностандарт генеративного цикла состоит из десяти фенофаз: 0 - покой, 1 («б1») - слабо дифференцированных бутонов, 2 («б2») - разгар бутонизации (окрашенные бутоны), 3 («ц1») - зацветание, 4 («ц2») - разгар цветения, 5 («отц») - отцветание, 6 («п1») - завязывание плодов и семян, 7 («п2») - поспевание плодов и семян, 8 («обс») - обсеменение, 9 («п.г.») - постгенеративная фаза. Итог полевых наблюдений - балльная оценка каждого вида сообщества.

### 2.2. Обработка собранных материалов.

2.2.1. Обработка одного бланка обследования. Обработка по каждому отдельному процессу ведётся независимо. Подсчитывается процент видов растений, находящихся на день обследования в определённой фенофазе (с одинаковым фенологическим баллом). Соотношение этих показателей и есть, по В.А.Батманову, *суммированная фенологическая характеристика* растительности сообщества (*СФХ*). Она характеризует фенологическое состояние фитоценоза в день наблюдений. Графически процентное соотношение видов наглядно отражается столбчатой диаграммой, у которой сектор соответствует проценту видов, находящихся в определённой фенофазе.

Для каждого процесса развития (генеративного и вегетативного) характерно своё процентное соотношение видов, а значит и своя диаграмма (рис. 1).

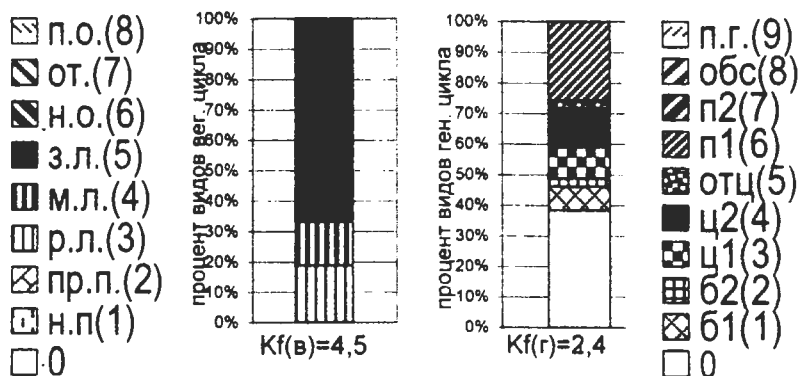


Рис.1 Комплексные фенологические показатели вегетативного (слева) и генеративного (справа) циклов развития растительности ольшаника болотно-травяного 10 июня 1997г

В инструкции В.А.Батманова обследование участка растительности заканчивается составлением суммированных фенологических характеристик изучаемых процессов развития. Мы считаем целесообразным для каждой СФХ вычислять *средний фенологический коэффициент* –  $K_f$  (представляющий собой средний взвешенный балл фенологического состояния фитоценоза), дополненный значением средней квадратической ошибки -  $m$  (Лакин, 1968). Средний фенологический коэффициент – это фенологическая характеристика, учитывающая фенологическое состояние всех видов растений фитоценоза, но выраженная по каждому процессу всего одним числом. Сопоставление среднего взвешенного фенологического балла с рядом фенофаз стандарта (см. выше) позволяет судить о состоянии сезонного развития фитоценоза в целом по изучаемому процессу на день исследования. Так на рис.1 ольшаник болотно-травяной находится в конце фазы «молодых листьев» -  $K_f(v) = 4,5 \pm 0,1$  балла, и в конце фазы «разгар бутонизации» -  $K_f(r) = 2,4 \pm 0,4$  балла.

СФХ и  $K_f$  – краткие *комплексные фенологические показатели* (КФП) фитоценоза, полученные при однократном его посещении.



2.2.2. Обработка материалов полевых наблюдений, полученных при повторных обследованиях. При повторном обследовании фитоценоза, проводимом через несколько дней, данные о сезонном развитии растительности можно дополнить показателями «фенологической скорости».  $V = (Kf_1 - Kf_2)/n$ , где  $Kf_1$  и  $Kf_2$  – средний фенологический коэффициент в первый и второй день наблюдений соответственно,  $n$  – количество дней между наблюдениями (единица измерения – доли балла в сутки).

Повторное обследование фитоценоза можно проводить на следующий год при условии, что наблюдения проводятся в одну и ту же дату. Даже при таком разовом посещении фитоценоза ежегодно применение КФП позволит вычислить погодичное фенотклонение ( $f = Kf_1 - Kf_2$ ) сезонного развития сообщества, выраженное в баллах стандарта. При посещении фитоценоза в одну и ту же дату в течение нескольких лет можно вычислить средний многолетний фенологический коэффициент –  $Kf_{ср}$  и погодичную фенoаномалию каждого отдельно взятого года наблюдений ( $F = Kf_{ср} - Kf$ ), а также определить степень достоверности полученных различий.

2.2.3. Обработка данных нескольких фитоценозов. Сезонное развитие растительности на территории исследования в целом характеризует СФХср и суммарный средний фенологический коэффициент -  $Kf_{ср}$ , дополненный значением суммарной средней ошибки ( $m_{ср}$ ). Разницу  $Kf(v)$  или  $Kf(r)$  отдельных фитоценозов мы называем экологическим фенотклонением (экофенотклонением -  $a$ ), а разницу  $Kf_{ср}$  и  $Kf$  отдельного фитоценоза – экофенoаномалией этого фитоценоза ( $A$ ). Средняя квадратическая экофенoаномалия ( $\sigma A$ ) характеризует меру изменчивости исследуемых показателей для всей территории:  $\sigma A = \pm \sqrt{(A^2)/(n-1)}$ . Рассматривая экофенотклонения разных фитоценозов и их экофенoаномалии, можно определить степень достоверности полученных различий.

2.2.4. Обработка данных фенологического мониторинга. Слежение за сезонной динамикой фитоценозов в течение вегетационного периода, организованное в виде регулярных многократных наблюдений, проводимых по определенной программе, представляет собой своеобразный *фенологический мониторинг фитоценозов* (Куприянова, 2000).

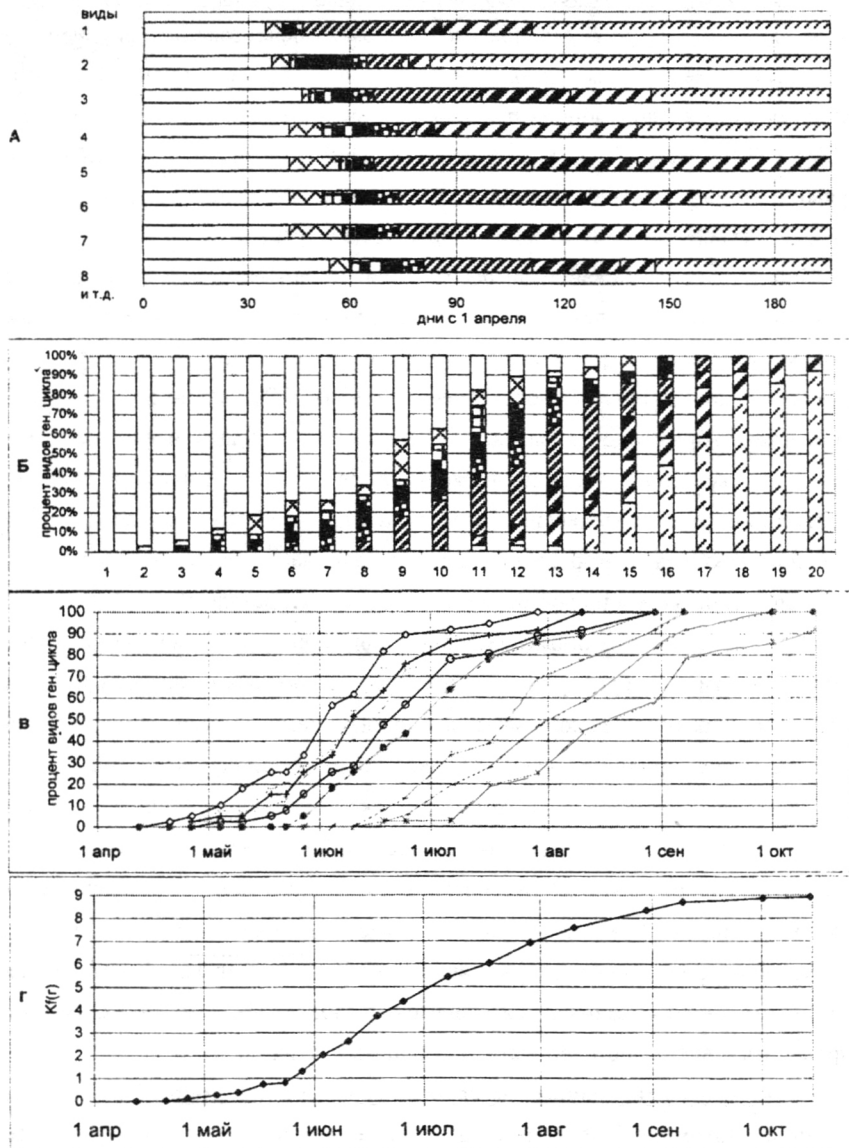


Рис.2 Фенологические показатели ольшаника болотно-травяного в 1997г: традиционный феноспектр (А); СФХ (Б); обобщенный феноспектр (В); средний фенологический коэффициент (Г).

Данные полевых наблюдений, полученные при многократных посещениях фитоценоза (или другой территории), удобно оформлять в виде традиционного фенологического спектра (рис.2А). Чтобы при последующем анализе использовать богатые данные феноспектра и, одновременно, нивелировать его недостатки (громоздкость, сложность в плане обобщения и сравнения), мы пошли по пути «сгущения информации» феноспектра: данные за каждую дату наблюдений мы представили в виде диаграммы СФХ (рис.2Б). Полученный ряд диаграмм СФХ образует обобщенный фенологический спектр сообщества (рис.2В). Помещенный внизу традиционного фенологического спектра, обобщенный феноспектр будет его логическим, концентрированным, кратким продолжением, наглядно отображая динамику сезонных процессов на территории фитоценоза. Следующий этап «сгущения информации» – её максимально возможная концентрация - подсчет среднего фенологического коэффициента ( $K_f$ ) для каждой СФХ. Динамика нарастания показателя  $K_f$  – наиболее обобщенный вариант отражения хода сезонных изменений в растительном сообществе в течение определенного отрезка времени (рис.2Г).

### **Глава 3. Модель сезонной динамики растительности – основа фенопериодизации.**

3.1. Средняя четырехлетняя модель сезонной динамики растительности в окрестностях г.Екатеринбурга. С использованием КФП с апреля по октябрь 1995 – 1997 и 1999гг проведен фенологический мониторинг растительных сообществ в окрестностях г.Екатеринбурга (см. п1.2.). Результатом феномониторинга стала средняя четырехлетняя модель сезонной динамики растительности изучаемой территории – «эталон» (рис.3). Исследования показали, что сезонное развитие фитоценозов подчинено закону нормального распределения. Доказательством этому служит тот факт, что графики эталона близки к кривым нормального распределения (на уровне значимости  $P=0,05$  различия между ними недостоверны). Кривая  $K_f(t)$  на рис.3А характеризуется «сигмой» 40 дней; кривая весенней вегетации ( $K_f(v)$  в апреле – июне) – 24 дня, кривая осеннего отмирания листвы ( $K_f(v)$  в августе – октябре) – 31 день.

Графики фенологических спектров (рис.3Б,В), отражающие переход видов растений из одной фенофазы цикла в другую, также близки к кривым нормального распределения. При чем кривые спектра вегетативного цикла круче, чем генеративного: «сигма» вегетативного цикла в среднем около 18 дней, а «сигма» генеративного – около 28 дней. Поэтому продолжительность фенофаз вегетативного цикла короче генеративного. Тоже можно сказать и о соотношении «весенних» и «осенних» фенофаз.

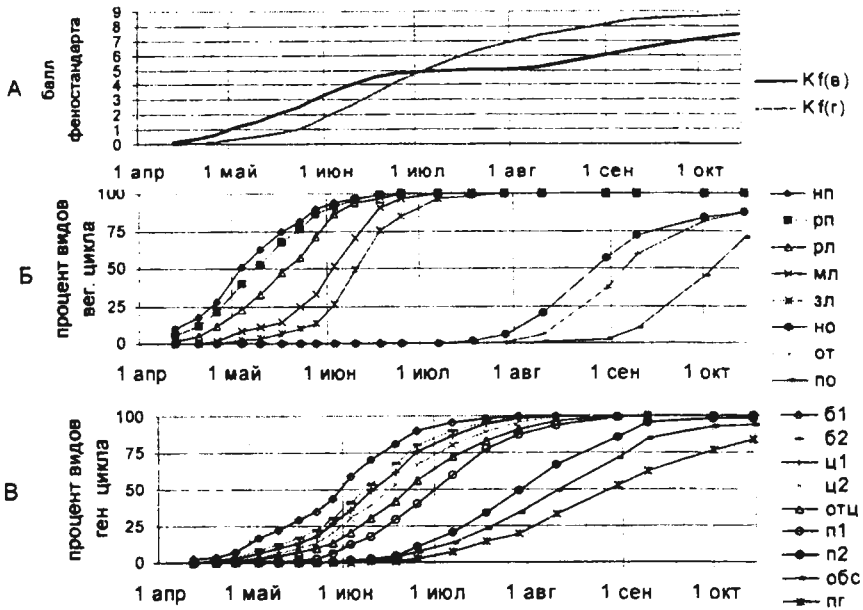


Рис.3 Средняя четырехлетняя модель сезонной динамики растительности изучаемой территории: динамика среднего фенологического коэффициента (А). обобщенные феноспектры вегетативного (Б) и генеративного (В) циклов

**3.2. Методические основы фенопериодизации.** На основе эталона и других данных феномониторинга проведена фенопериодизация той части года, когда проходили исследования. Главным критерием при определении границ сезонов и их этапов (подсезонов и ступеней) стал средний фенологический балл –  $Kf$  (см. п.2.2.1.). Для характеристики этапов использовали СФХ (см.

п.2.2.1.) и традиционные фенологические показатели - аспект, явления-феноиндикаторы, кривые фенофаз, а также данные о температуре воздуха местной метеостанции.

3.3. Характеристика сезонов и их этапов. Дана подробная характеристика подсезонов и ступеней бесснежной части года с указанием временных границ, продолжительности, температурных условий, описанием явлений фенологического аккорда и явлений-феноиндикаторов. Коротко об этапах фенопериодизации в таблице 1 и на рис 4.

Таблица 1

Фенопериодизация бесснежной части года в окрестностях г.Екатеринбурга

Этап	Продолжительность	Kf	СФХ на рис4	Индикаторы начала
1	2	3	4	5
IIВ Голая весна	20.04 -10.05 (21 день)	$Kf(в)= 0 - 1,5$ $Kf(r) > 0$	А	см. IIВ1
IIВ1 Первая ступень	20 – 26.04 (7 дней)	$Kf(в) = 0 - 0,5$ $Kf(r) \cong 0$	-	облик зимнезелёных растений летний, цветение ольхи, зацветание пушицы влагалищной
IIВ2 Вторая ступень	27.04 – 10.05 (14 дней)	$Kf(в)= 1 \pm 0,5$ $Kf(r) > 0$	-	отцветание ольхи и пушицы, первые цветки медуницы; проклевывание почек деревьев и кустарников, первые проростки трав
IIIВ Зеленая весна	11 - 23.05 (13 дней)	$Kf(в)= 2 \pm 0,5$ $Kf(r) \cong 0,5$	Б	«зеленая дымка» берез, появление скрученных вай орляка
IVВ Цветущая весна	24.05 – 6.06 (14 дней)	$Kf(в)= 2,5-4,0$ $Kf(r)= 1,0-2,5$	В	зацветание черемухи, андромеды; расправление вай орляка
IIЛ Раннее лето	07 - 27.06 (20 дней)	$4,0 < Kf(в) < 5,0$ $Kf(r)= 2,0 (2,5)$ – 4,5	Г	см. IIЛ1
IIЛ1 Первая ступень	7 – 20.06 (14 дней)	$Kf(в) \cong 4,5$ $Kf(r)= 2,0$ (2,5) – 3,0	-	темно-зеленая листва деревьев и кустарников; зацветание рябины и шиповника

1	2	3	4	5
II2 Вторая ступень	21 - 27.06 (7 дней)	$Kf(v)=4,5 - 5,0$ $Kf(r)=3,5 - 4,5$	-	цветение гравилата городского, василистика малого, крушины, купыря, на болоте клюквы
III Полное лето	28.06 - 25.07 (28 дней)	$Kf(v)=5$ $Kf(r)=4,5 - 6,5$	Д	цветение таволги, поповника, репейничка, буквицы, наперстянки; начало созревания черники и земляники, обсеменение пушицы
III1 Первая ступень	28.06 - 10.07 (13 дней)	$Kf(v)=5$ $Kf(r)=5 \pm 0,5$	-	цветение сныти и рамишии однобокой
III2 Вторая ступень	11 - 25.07 (15 дней)	$Kf(v)=5$ $Kf(r)=6 \pm 0,5$	-	цветение зимолюбки
III Спад лета	26.07 - 16.08 (20 дней)	$Kf(v)=5,0 - 5,5$ $Kf(r)=7,0 \pm 0,5$	Е	поспевание брусники; первые окрашенные ваи орляка и листья земляники, сныти, майника, крапивы, герани и др.
IO Ранняя осень	17.08 - 09.09 (22 дня)	$Kf(v)=6 \pm 0,5$ $Kf(r)=8 \pm 0,5$	Ж	см. IO1
IO1 Первая ступень	17 - 30.08 (14 дней)	$Kf(v)=5,5 - 6,0$ $Kf(r)=7,5 - 8,0$	-	появление первых желтых прядей или разбросанных желтых листьев у первых ( $\approx 5\%$ ) берез, начало отмирания орляка, черники, василистика простого
IO2 Вторая ступень	01 - 10.09 (10 дней)	$Kf(v)=6,0 - 6,5$ $Kf(r)=8,0 - 8,5$	-	полное отмирание седмичника; обсеменение буквицы, репейничка, наперстянки
IIO Золотая осень	11 - 30.09 (20 дней)	$Kf(v)=6,5 - 7,0$ $Kf(r) > 8,5$	З	преобладание окрашенных листьев над неокрашенными в аспекте трав и листопадных видов (в т.ч. и у березы)
IIIO Поздняя осень	1 - 30.10 (30 дней)	$Kf(v) > 7,0$ $Kf(r)=8,5 - 9,0$	И	см. IIIO1
IIIO1 Первая ступень	1 - 15.10 (15 дней)	$7,0 < Kf(v) < 7,5$ ; $Kf(r)=8,5 - 9,0$	-	конец массового листопада; «голый», бурый ландшафт

ШО2 Вторая ступень (предзимье)	16 -30.10 (15 дней)	$Kf(B) \cong 7,5$ ; $Kf(r) \cong 9,0$	-	первый снежный покров
---	------------------------	--	---	-----------------------

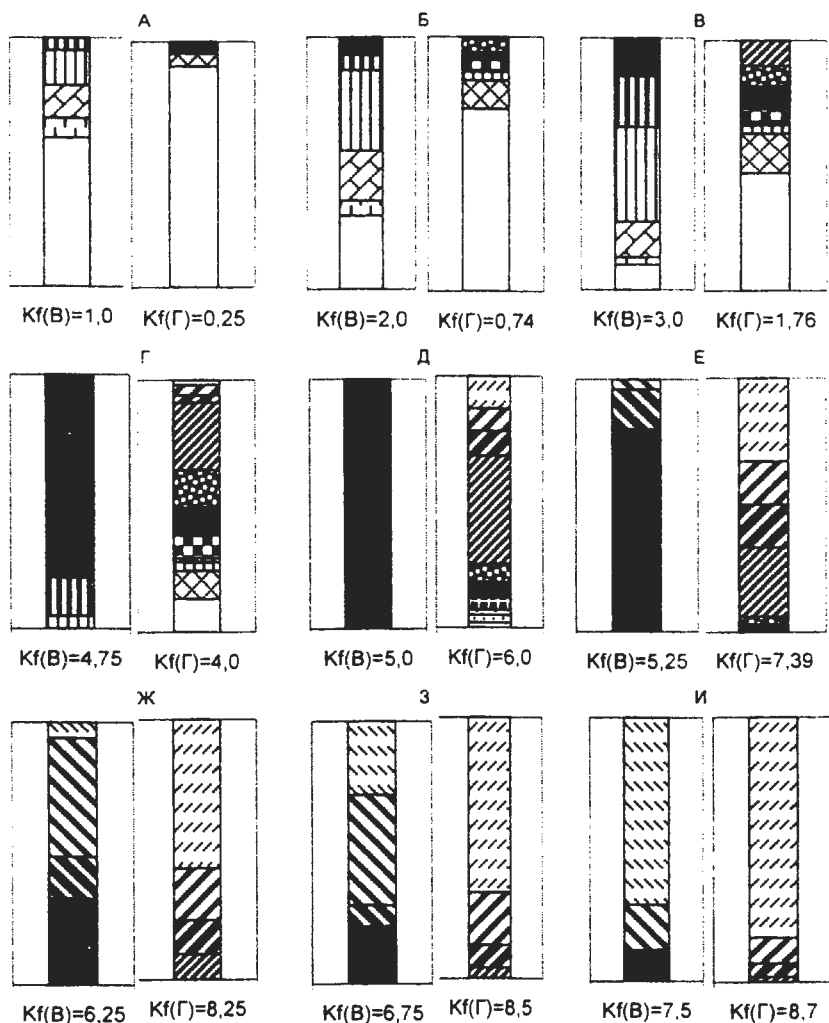


Рис.4 КФП эталона на этапах голой (А), зеленой (Б) и цветущей (В) весны; раннего (Г), полного (Д) и спада (Е) лета; ранней (Ж), золотой (З) и поздней (И) осени

#### Глава 4. Погодичная изменчивость хода сезонных изменений растительности исследуемой территории (в 1995 – 1997, 1999гг).

С помощью новых комплексных фенопоказателей выявлены особенности сезонного развития растительности в 1995, 1996, 1997 и 1999гг, построены модели сезонного развития, вычислены погодичные феноаномалии.

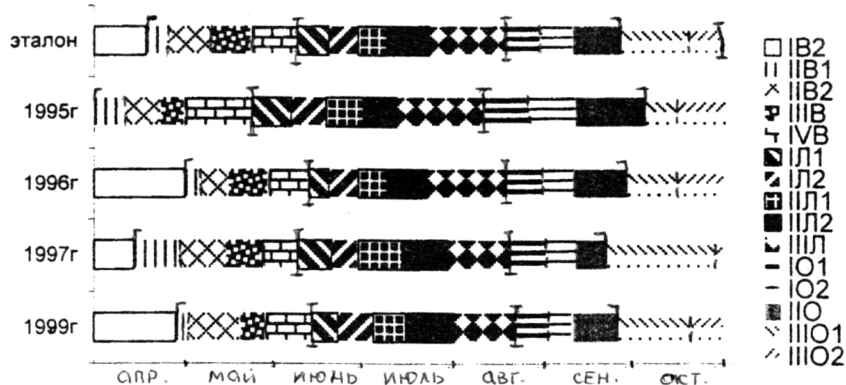


Рис.5 Погодичная изменчивость продолжительности сезонов и их этапов.

Условные обозначения. Границы:  $\square$  сезонов,  $\{$  подсезонов,  
 $|$  ступеней,  $\square$  вегетационного периода

1995г был особенным как в метеорологическом, так и в фенологическом отношении. Сезонное развитие растительности в 1995г характеризовалось очень ранним и бурным началом, продолжительной «цветущей» весной, ранним, но продолжительным периодом отмирания листвы. Вегетационный период в 1995г начался уже с первых чисел апреля (рис.5). Показатели фенологической скорости в апреле 1995г были в несколько раз выше, чем в апреле последующих лет, и в конце месяца их значение достигло годового максимума –  $V(v)=0,13$  балла в сутки. Уже с 1 мая господствовали процессы роста листьев – последний подсезон весны - IVB (рис.5). В это время феноаномалия достигла максимального за год значения – -23 дня (-1,7 баллов), а погодичное феноотклонение с отстающим 1999г – 30 дней (2,3 балла). Подсезон цветущей весны (IVB) длился в 1995г в 1,5 раза дольше эталона и почти в 2 раза дольше, чем в 1996г или 1997г. Причиной этого мы



считаем тот факт, что в первой и второй декадах мая 1995г среднесуточные температуры воздуха были близки, но не превышали порога +15С. В таких благоприятных погодных условиях растения смогли надолго сохранить молодую светло-зеленую листву. Фенологическое лето началось одновременно с метеорологическим – 23 мая ( $F(v) = -15$  дней). Летние феноаномалии генеративного цикла, достигшие к началу июня максимальных двух недель (-1,3 балла), сохраняются в течение сезона в среднем на уровне -10 дней (-0,8 балла). Тот факт, что лето 1995г было ранним и жарким, способствовал тому, что уже 25.07.1995г ( $Kf(v) = 5,2$ ) с опережением средних четырехлетних данных на 12 дней были отмечены первые отмирающие виды растений. А 10.08.95г  $Kf(v)$  достиг 5,5 балла, что соответствовало наступлению осени ( $F(v) = -9$  дней). Процессы отмирания проходили на фоне повышенного тепла (метеорологическое лето в 1995г продолжалось до 15 сентября). Поэтому темпы отмирания растительности в 1995г были замедленными (в I-IIО  $V(v)=0,25$  балла в сутки). Этап окрашивания листвы (I-IIО) растянут до 50 дней, что на две недели дольше эталона, а конец золотой осени отодвинут на последние дни сентября (рис.5). Вегетационный период в 1995г сильно растянут – 187 дней, что почти на месяц (27 дней) длиннее эталона.

1996г характеризовался поздним началом вегетационного периода, максимально высокими темпами весеннего развития и наибольшим сходством с эталоном в летне-осенний период. Начало вегетационного периода в 1996г - 1 мая - было самым запоздалым за 4 года наблюдений: ( $F(v) = +12$  дней (+1 балл)). Но темпы весеннего развития растительности в 1996г были самыми высокими за 4 года:  $V(v)$  в среднем за весенний период – 0,033 балла в сутки; максимум фенологической скорости отмечен в подсезон IVB, и значения его самые большие за весь четырехлетний период наблюдений ( $V(v)=0,18$  баллов в сутки,  $V(r)=0,16$  баллов в сутки). Поэтому в мае феноаномалии ( $F(v)$ ) сократились до +6 дней (+0,5 баллов). Продолжительность весны в 1996г была самой короткой– 42 дня. Переход к лету произошел 12 июня с небольшой феноаномалией +3 дня, и в дальнейшем сезонное развитие растительности в 1996г было близко эталону ( $F=0$ ). В связи с поздним началом вегетационный период в 1996г на 11 дней короче эталона– 151 день.

В 1997г сезонное развитие растительности близко к средней четырехлетней модели (эталону). Значения погодичных феноаномалий малы - в среднем с апреля по октябрь  $F=0,16$  балла (1 – 2 дня), но не более +5 дней (+0,5 балла), отмеченных в мае. Отличительным был холодный и потому короткий - 11 дней - подсезон золотой осени (рис.5). Продолжительность вегетационного периода 1997г, практически, как и эталона - 161 день.

1999г из четырех лет наблюдений самый отстающий, его феноаномалии всегда положительные. Начало вегетационного периода в 1999г было поздним ( $F(v) = +10$  дней) (рис.5). Резкий подъем темпов сезонных изменений в самом начале вегетации ( $V(v) = 0,116$  баллов в сутки), способствовавший прохождению первой ступени голой весны (IIB1) в рекордно сжатые сроки - всего 3 дня (рис.5), был кратковременным и не оказал впоследствии заметного влияния. В дальнейшем сезонное развитие растительности 1999г было самым запаздывающим в сравнении и с эталоном, и с предыдущими годами наблюдений. Самыми поздними за 4 года были в 1999г даты начала и лета ( $F(v) = F(r) = +6$  дней (+0,7 балла)), и осени ( $F(v) = +3$  дня (+0,2 балла)). Лишь этап золотой осени, а значит и конец вегетационного периода, соответствовали по срокам эталону. Вегетационный период короче эталона на 11 дней – 151 день.

Изучение погодичной изменчивости сезонных процессов с помощью КФП позволило выявить следующие закономерности сезонных процессов.

Более чутко на изменения погодных условий реагирует вегетативный цикл развития растительности. Поэтому сезонное развитие генеративных органов растений плавное; в развитии вегетативных органов выражена «ступенчатость». Феноаномалии генеративного цикла по сравнению с вегетативным циклом более стабильны. Изменения показателей погодичных феноотклонений  $Kf(v)$  и  $Kf(r)$  имеют одинаковые тенденции, не смотря на разницу в значениях.

В вегетативном цикле достоверных погодичных отклонений больше, чем в генеративном цикле, так как ошибки  $Kf(v)$  малы. Легче обнаружить и доказать погодичное феноотклонение (феноаномалию) в начале развития

процесса (на этапе голой весны, например), потому что в этот период, не смотря на небольшие значения  $K_f$ , ошибки  $K_f$  еще тоже малы.

Период максимума погодичной изменчивости с учетом показателей вегетативного и генеративного циклов одновременно приходится на май и первую декаду июня: средняя квадратическая экофеноаномалия ( $\sigma F$ ) вегетативного цикла -  $\pm 14$  дней ( $\pm 1,0$  балл), генеративного цикла  $\pm 7,5$  дней ( $\pm 0,6$  балла); погодичная феноаномалия вегетативного цикла -1,6 балла (-26 дней), генеративного цикла -1,3 балла (или -20 дней); погодичное фенотклонение (между 1995 и 1999гг) вегетативного цикла - 2,3 балла (30 дней), генеративного - 2,0 балла (25 дней). Осенние феноаномалии ( $\sigma F = \pm 1,6$  дня ( $\pm 0,15$  балла)) меньше весенних. Кроме того, осенью отмечены периоды ежегодных нулевых феноаномалий вегетативного цикла в начале сентября (начало золотой осени) и в октябре (собственно поздняя осень) (рис.5).

#### **Глава 5. Экологическая изменчивость сезонной динамики фитоценозов.**

С помощью новых комплексных фенопоказателей выявлены особенности сезонного развития разных фитоценозов, дана оценка экологической изменчивости сезонных процессов на изучаемой территории.

*Фитоценозы привершинной части Варнацкого края (березняк травяной и сосняк орляковый)* среди других фитоценозов профиля наиболее близки друг другу по сезонной динамике, также как по местоположению и видовому составу. Значения их экофеноаномалий («А») малы; сезонное развитие этих фитоценозов можно считать наиболее соответствующими сезонному развитию изучаемой территории профиля в целом (эталоны).

*Сосняк мелкотравно-черничниковый*, как и два предыдущих сообщества, расположен на территории Варнацкого края, и имеет с ними наибольший процент флористического сходства, но по фенологическим показателям всегда запаздывает по сравнению с ними, как хуже прогреваемый солнцем. Более того, сосняк мелкотравно-черничниковый чаще других сообществ является «аутсайдером» сезонного развития (весной и летом в генеративном цикле, осенью в вегетативном),  $A \geq 0$ .

*Ольшаник болотно-травяной* чаще других фитоценозов относится к числу «лидеров» сезонного развития. Его экофеноаномалии всегда отрицательные. Лишь весной и в первой половине лета по показателям генеративного цикла ольшаник уступает «лидерство» сосняку кустарничково-сфагновому. Ольшаник относится к территории Верх-Исетского торфяника вместе с сосняком кустарничково-сфагновым, но в сезонном развитии близок к фитоценозам соседнего Варнацкого края, особенно к удаленными от него фитоценозами привершинной части края.

*Сосняк кустарничково-сфагновый* наиболее сильно отличается по сезонной динамике от других фитоценозов, имеет самые большие значения экофеноаномалий и самый большой процент достоверных отличий  $K_f$ . Весной и в первой половине лета фитоценоз сильно отстает от других сообществ в развитии вегетативных органов ( $A > 0$ ), но значительно опережает в развитии генеративных органов ( $A < 0$ ). Осенью, наоборот, экофеноаномалии вегетативного развития фитоценоза отрицательные, а генеративного положительные. Наименьшие отличия в фенологии сосняка кустарничково-сфагнового от других фитоценозов отмечены в подсезон спада лета на этапе созревания плодов и семян. Сезонная ритмика фитоценоза близка к сезонной ритмике тундровых сообществ с весенним максимумом цветения и коротким единым летом; обсеменение большинства его видов продолжается всю осень и позднее, вплоть до следующего вегетационного периода.

В ходе изучения экологической изменчивости сезонной динамики фитоценозов по данным фенологического мониторинга выявлено следующее. — Фенология отдельных видов растений или групп видов не всегда соответствует фенологии фитоценоза в целом. Так  $K_f(r)$  кустарничкового яруса достоверно отличался в 44% случаев (максимально – до 100%),  $K_f(v)$  весной в 51% случаев, осенью в 44% случаев. Из числа древесных доминант для сосны обыкновенной весной отмечено достоверное отставание, в начале осени – опережение; окрашивание листьев березы в августе в отдельные годы отставало от общих темпов окрашивания. — Одинаковый средний фенологический балл могут иметь фитоценозы и с похожими, и с сильно отличающимися по соотношению фенофаз СФХ. — Некоторые значительно

отличающиеся по видовому составу сообщества характеризовались сходной сезонной ритмикой и похожими СФХ. — Сходство сезонного развития фитоценозов не всегда напрямую зависит от сходства их местоположения. — Значения экофеноаномалий вегетативного цикла меньше, чем генеративного. — В связи с небольшими значениями ошибки  $K_f$  - «т», экологические различия показателей вегетативного цикла чаще бывают достоверны, чем генеративного. — Показатели экологических различий вегетативного цикла слабо изменяются в течение сезона; осенние экофеноаномалии ( $\sigma A = \pm 4$  дня (0,2 балла)) меньше весенних ( $\sigma A = \pm 7$  дней ( $\pm 0,6$  балла)). В сезонном развитии генеративных органов растений экологические различия достигают максимума летом ( $\sigma A = \pm 7$  дней ( $\pm 0,6$  балла)). В целом наибольшие экологические различия в фенологическом состоянии фитоценозов отмечались в июне: максимальные экофеноаномалии  $\pm 8$  дней ( $\pm 0,9$  баллов); максимальное экофеноотклонение вегетативного цикла - 18 дней (1,5 балла), генеративного - 18 дней (2,2 балла).

### Выводы.

1. Комплексные фенологические показатели (суммированная фенологическая характеристика и средний фенологический коэффициент) – новый способ отражения фенологии растительных сообществ. Их отличают простота и относительная нетрудоемкость; комплексность фенологической характеристики; возможность выразить информацию в краткой цифровой форме, поддающейся математической обработке; однонаправленность; сравнимость результатов, полученных для фитоценозов, сильно отличающихся по видовому составу; возможность отслеживать тенденции фенологических изменений растительности во времени и пространстве.

2. Полученные в ходе феномониторинга графики комплексных фенологических показателей средней четырехлетней модели сезонного развития растительности изучаемой территории близки к кривым нормального распределения (на уровне значимости  $P=0,05$  различия между ними недостоверны).

3. Вегетативный цикл развития растений по сравнению с генеративным более чутко реагирует на изменения погодных условий, особенно весной; для него характерны большая компактность в прохождении фенофаз; большая достоверность феноаномалий (феноотклонений). Это дает преимущество в использовании фенопоказателей вегетативного цикла (весной и осенью) при оценке погодичной изменчивости сезонных процессов и в целях фенопериодизации.

4. Фенологии фитоценоза в целом наиболее соответствовало сезонное развитие травяного яруса; комплексные фенологические показатели кустарникового яруса и древесных доминант достоверно отличались от комплексных фенологических показателей фитоценоза в целом.

5. Схема феноклиматической периодизации бесснежной части года в окрестностях г.Екатеринбурга, созданная на основе комплексных фенологических показателей растительности, включает следующие этапы: три весенних подсезона – голая весна ( $Kf(v)=0-1,5$  балла), зеленая весна ( $Kf(v)=2,0\pm 0,5$ ) и цветущая весна ( $Kf(v)=2,5 - 4,0$ ); три летних – раннее лето ( $Kf(r)=2,5-4,5$ ), полное лето ( $Kf(r)=5\pm 0,5$ ) и спад лета ( $Kf(r)=6\pm 0,5$ ); три осенних – ранняя осень ( $Kf(v)=6,0\pm 0,5$ ), золотая осень ( $Kf(v)=6,5-7,0$ ) и поздняя осень ( $Kf(v)>7,0$ ). Продолжительность вегетационного периода в среднем четырехлетнем - 157 дней.

6. Период максимума погодичной изменчивости сезонной динамики фитоценозов приходится на май и первую декаду июня: среднее квадратическое феноотклонение вегетативного цикла составило  $\pm 14$  дней ( $\pm 1,0$  балл), генеративного цикла -  $\pm 7,5$  дней ( $\pm 0,6$  балла). Максимальное значение погодичной феноаномалии, отмеченное по показателям вегетативного цикла весной 1995г, достигло -26 дней (-1,6 балла); максимальное погодичное феноотклонение (между 1995 и 1999гг) - 30 дней (2,3 балла). Показатели погодичной фенологической изменчивости вегетативного цикла осенью меньше, чем весной.

7. Наибольшие экологические различия в фенологическом состоянии фитоценозов отмечались в июне: максимальные экوفеноаномалии (и вегетативного, и генеративного циклов)  $\pm 8$  дней ( $\pm 0,9$  баллов);

растений характерны большие значения экофеноаномалий, по сравнению с вегетативным.

### **Работы, опубликованные по теме диссертации**

1. Терентьева Е.Ю. Повышение информативности фитофенологических спектров с помощью интегрального описательного метода В.А.Батманова при проведении наблюдений в заповедниках // Проблемы заповедного дела. 25 лет Висимскому заповеднику: материалы научной конференции – Екатеринбург, изд. «Екатеринбург», 1996 – с.103-105.

2. Терентьева Е.Ю. Использование комплексных фенологических характеристик в ландшафтных исследованиях // Актуальные проблемы эколого-географического изучения Урала для целей оптимизации природопользования и регионализации образования: тезисы докладов научно-практической конференции - Екатеринбург, изд. УрГПУ, 1997 - с.48-50.

3. Терентьева Е.Ю. Суммированные характеристики фитоценозов // Развитие идей С.С.Шварца в современной экологии. Сборник трудов конференции молодых ученых-экологов Уральского региона (2-3 апреля 1999г) – Екатеринбург, изд. «Екатеринбург», 1999 – с186-187.

4. Терентьева Е.Ю. Сезонный мониторинг растительности через суммированные фенологические характеристики фитоценозов // Актуальные проблемы регионального, географического, экологического и биологического образования: материалы региональной научно-практической конференции - Екатеринбург, изд. УрГПУ, 2000 - с.116 – 117.

5. Терентьева Е.Ю. Комплексные фенологические показатели фитоценозов как метод организации мониторинга за сезонной динамикой растительных сообществ низшего ранга // Фенологические методы в научных исследованиях и школе. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.А.Батманова (16 декабря 2000 г, Екатеринбург) – Екатеринбург, изд. УрГПУ, 2001 – с.36 – 42.

Подписано в печать 02.03.01 г. Тираж 100 экз. Формат 60х84 / 16. Усл.печ.л. – 1,0.

Заказ № 565

620219 Екатеринбург, ГСП-135, просп. Космонавтов, 26. Отдел множительных систем Уральского государственного педагогического университета.

20